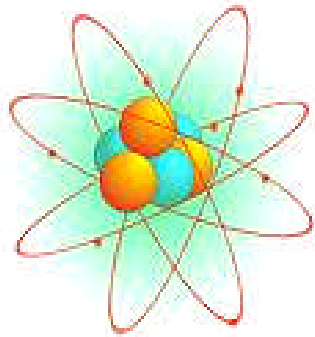


ISSN:



PROSIDING Seminar Fisika dan Aplikasinya 2009

Surabaya, 3 Nopember 2009



Diselenggarakan oleh
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Pendukung Acara:



DAFTAR ISI

Pengantar
Kata Sambutan Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS
Daftar Isi
Makalah dalam Prosiding:

i
ii
iii

| NAMA | JUDUL ARTIKEL | HALAMAN |
|--|--|---------|
| Agus Purwanto | Sumur Potensial Dengan Satu Dimensi Ekstra | TEO01 |
| Nurhadi, Agus Purwanto | Mekanika Kuantum Supersimetri dan Penerapannya bagi Sumur Potensial Tak Hingga Satu Dimensi | TEO02 |
| Intan F Hizbullah, Agus Purwanto | Neutrino, Partikel Dirac Atau Majorana? | TEO03 |
| Heru Sukanto, Agus Purwanto | Model Standar dengan Dimensi Ekstra versi Kaluza-Klein | TEO04 |
| Latifah E, Purwanto A. | Gaya Casimir Pada Pelat Dielektrik Dengan Teori Lifshitz Temperatur Nol | TEO05 |
| Bagus K. Lencana, Agus Purwanto | Aplikasi Program Matematica Untuk Model Kosmologi Standar | TEO06 |
| Yohanes Dwi Saputra dan Agus Purwanto | Mesin Panas Kuantum Berbasis Sumur Potensial Satu Dimensi | TEO07 |
| Elang Jaka Sobirin, Satwiko Sidopekso, Toto Winata | Pengaruh Daya RF Terhadap Sifat Listrik Lapisan Tipis A-Si:H Yang Ditumbuhkan Dengan Metode HWC-VHF-PECVD | MAT01 |
| Diah Hari Kusumawati, Woro Setyarsih, dan Francisca Dunita, M. Zainul Asrori, Darminto | Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Konduktivitas Listrik Polianilin Hasil Elektropolimerisasi | MAT02 |
| Frida U. Ermawati | Radical Formation In X-Irradiated Amino Acids And Its Relation To Their Crystal Structures | MAT03 |
| Nur Fadhillah, Frida Ulfah Ermawati, Suminar Pratapa | Fitting Dan Refinement Puncak Difraksi Sinar-X Pada Bahan Paduan Aluminium Dan Magnesium Dengan Menggunakan Metode Rietveld Software Rietica | MAT04 |
| Reny Triana Mayasari, Frida U. Ermawati, Suminar Pratapa | Pencocokan Tak Linier Pola Difraksi Sinar-X Pelet Aluminium Akibat Perlakuan Panas Dengan Metode Rietveld Menggunakan Software Rietica | MAT05 |
| M. Zainul Asrori, I Gusti Bagus Astu Pradhana, Darminto | Fabrikasi Nanokomposit PANI/HCl/Fe3O4 Sebagai Material Konduktif – Magnetik | MAT06 |
| Suminar Pratapa, Lusi Susanti, Malik Anjelh Baqiya, Sri Yani Purwaningsih | Perbandingan Penghalusan Pola Difraksi Sinar-X Menggunakan Rietica Dan MAUD: Kasus Serbuk Ytria Nanokristal | MAT07 |
| Ayi Bahtiar, Annisa Aprilia | Karakteristik Dioda Bulk-Heterojunction Polimer Poli(3-Heksiltiofen) : Metanofuleren (P3HT:PCBM) | MAT08 |
| Malik A. Baqiya, Mashuri, Eddy Yahya, Triwikantoro, Darminto | Potensi Pasir Besi Alam Sebagai Bahan Dasar Sintesis Partikel Nano Fe3O4 | MAT09 |
| Triwikantoro, Rindang Fajarin | Pengaruh Elemen Pemasu pada Kestabilan Struktur Paduan Amorf Berbasis Zirkonium | MAT10 |
| Sri Yani Purwaningsih, Ihsan, Triwikantoro | Deposisi Lapisan Tipis ZnO:Al Dengan DC-Sputtering Sebagai Bahan Sensor Gas CO | MAT11 |
| Nisatun, Frida U. Ermawati, Suminar Pratapa | Fitting Dan Refinement Pola Difraksi Sinar-X Serbuk Magnesium (Mg) Akibat Perlakuan Panas Dengan Menggunakan Metode Rietveld | MAT12 |
| S. Hidayat, Fitrilawati, A. Bahtiar, R. | Sintesis Dan Karakterisasi Polimer Hibrid Untuk Aplikasi | MAT13 |

| | | |
|--|---|-------|
| E. Siregar, R. Hidayat | Laser | |
| D. R. Wenas, H. Taunamang, R.E. Siregar, Herman, M.O. Tjia | Agregasi Dan Orientasi Molekul Dari Film DR19 Yang Dibuat Dengan Metode E-PVD | MAT14 |
| Eddy Yahya | Plasma Pada Pecvd Untuk Deposisi Silikon Amorf, a-Si:H | MAT15 |
| Ngurah Ayu K Umiati, Agus Subagio, Iis Nurhasanah, M Cholid Djunaidi | Analisis Mikrostruktur Ammonium Hexafluoroindium-Gallate Sebagai Bahan Dasar Indium Galium Nitrida untuk Material Sel Surya | MAT16 |
| Fitrilawati, D.Purba, P.Pitriana, S. Hidayat, N. Syakir, R. Hidayat | Pembuatan Dan Karakterisasi Polimer Hibrid Yang Didoping Kromofor DCM | MAT17 |
| Lusi Safriani, Sahrul Hidayat, Nita Amalia Solihah, Fatika Azzahra | Sifat Optik Material Kristal Fotonik Berbasis Bahan Koloid Partikel Silika Dan Partikel Polistiren | MAT18 |
| Zaenal Arifin, Triwikantoro | Efisiensi Surfaktan Sodium Lauryl Sulfat Dalam Minyak Mentah Terhadap Perilaku Korosi Baja Karbon ST 37 | MAT19 |
| Nugrahani Primary Putri, Darminto | Sintesis Film Nanokomposit PANi/HCl/Fe ₃ O ₄ | MAT20 |
| Komang Gde Suastika, Khusnul Ain | Rancang Bangun Sistem Tomografi Transmisi-Emisi Sebagai Media Pembelajaran | INS01 |
| Kusnahadi S, Marlan, Dessy N. | Integrasi Fuzzy Dengan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Memprediksi Parameter Petrofisik Dari Data Well Log | INS02 |
| Dessy Novita, Estiko Rijanto, Verydias Aditya, Estiko Rijanto | Identifikasi Parameter Model Dinamika Suhu Prototype Reaktor Kimia Menggunakan Hasil Pengukuran Mikrokontroler Atmega 8535 | INS03 |
| Husneni M, Suprijanto, Farida I.Muchtadi | Perencanaan Terapi Termal Untuk RF Ablasi Tumor Hati Berdasarkan Solusi Numerik Persamaan Kalor- Bio | INS04 |
| Suyatno, Ahmad Hisam | Perancangan Dan Pembuatan Alat Pendeteksi Tingkat Kebisingan Bunyi Berbasis Mikrokontroler | INS05 |
| Khusnul Ain dan Nuril Ukhrowiyah | Tomografi Komputer Translasi-Rotasi Dengan Sampling Data Heksagonal Dan Metode Rekonstruksinya Art | INS06 |
| Lea Prasetyo, Suyatno, Rista Dwi Permana Sari | Studi Tentang Pengaruh Prosentase Lubang Terhadap Daya Absorpsi Bunyi | INS07 |
| Lea Prasetyo, Suyatno, Rizki Armandia Mahardika | Studi Tentang Pengaruh Rongga Terhadap Daya Absorpsi Bunyi | INS08 |
| Nasrudin, Melania Suweni Muntini | Rancang Bangun Sistem Instrumen Pengukur Gas Ammonia | INS09 |
| Esmeralda C. Djamal | Analisis Waktu-Frekuensi Dari Sinyal EEG Terhadap Rangsangan Suara Menggunakan Spektral Wavelet | INS10 |
| Okimustava, Raden Oktova | Penentuan Suhu Curie Besi Dengan Metode Kawat Berarus Listrik | PEN01 |
| Boby Deen Marten, Suparwoto, Zahara Muslim | Penerapan Metode Tutor Sebaya Pada Pembelajaran Fisika Untuk Meningkatkan Kinerja Siswa Kelas X Smk Muhammadiyah 2 Playen, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta, Pokok Bahasan Sifat Mekanik Bahan | PEN02 |
| Madlazim, Bagus Jaya Santosa, Widya Utama | Parameter-Parameter Sumber Gempa Bumi Padang Dan Korelasinya Dengan Gempa Bumi-Gempa Bumi Berikutnya | GEO01 |
| Ridhwan, Dwa Desa Warnana, Widya Utama | Penggunaan Metode Resistivitas 3-Dimensi: Untuk Mengetahui Bidang Longsor Pada Daerah Rawan Longsor Di Desa Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember Sebagai Bagian Dari Mitigasi Bencana Longsor | GEO02 |

PENGARUH ELEMEN PEMADU PADA KESTABILAN STRUKTUR PADUAN AMORF BERBASIS ZIRKONIUM

Triwikantoro¹⁾, Rindang Fajarin²⁾

1). Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya

2). Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS Surabaya

Abstrak

Telah dilakukan pengamatan dan analisis pengaruh elemen pemadu pada kestabilan struktur Paduan amorf berbasis Zirkonium. Paduan amorf berbasis Zirkoniiiim komposisi bervariasi $Zr_{69,5}Cu_{12}Ni_{11}Al_{7,5}$; $Zr_{68,5}Cu_{13}Pd_{11}Al_{7,5}$; dan $Zr_{68}Cu_{11}Ni_{10}Al_7Si_4$ berbentuk pita dengan tebal 20 - 40 μm lebar 2,0 - 2,2 mm dipanaskan pada temperatur antara 390 - 410°C menggunakan tungku tidak hampa selama 1 jam. Paduan amorf yang telah dipanaskan diamati kestabilan strukturnya menggunakan pola difraksi sinar x. Berdasar pengamatan dan analisis data pola difraksi menunjukkan bahwa terjadi perubahan fasa dari fasa amorf ke kristal pada dua paduan yaitu $Zr_{69,5}Cu_{12}Ni_{11}Al_{7,5}$ dan $Zr_{68,5}Cu_{13}Pd_{11}Al_{7,5}$, sedangkan paduan $Zr_{68}Cu_{11}Ni_{10}Al_7Si_4$ menunjukkan adanya amorfisasi. Analisis fasa menunjukkan fasa-fasa yang terbentuk didominasi oleh fasa oksida (ZrO_2) akibat kontak dengan udara luar dengan ukuran antara 9 - 20 nm. Kestabilan struktur paduan amorf terlihat dominan pada paduan dengan 5 jumlah elemen, unsur Si dan Pd berperan signifikan dalam menstabilkan fasa dan mengurangi pembentukan oksida pada paduan selama pemanasan.

Kata-kata Kunci: Paduan Zr, stabilitas struktur, fasa oksida

Abstract

The observation and analysis of the effect of alloying elements on structure stability of the amorphous alloy Zr-based have been done. The ribbon of amorphous alloys Zr-based with various composition 20-40 μm in thick and 2,0-2,2 mm in width were heated at the temperature between 390-410°C using non vacuum furnace during 1 hour. The structure stability for the heated amorphous alloys were observed using x Ray diffraction pattern. Based on the data analysis show that phase from amorphous to crystalline phase be occurred for $Zr_{69,5}Cu_{12}Ni_{11}Al_{7,5}$ and $Zr_{68,5}Cu_{13}Pd_{11}Al_{7,5}$, whereas the amorphization of $Zr_{68}Cu_{11}Ni_{10}Al_7Si_4$ alloy was observed. The phase analysis show that the formed phases be dominated by Zr-oxide phase. Oxidation was dominantly phenomena in this case. The Si and Pd element have influenced significant to phase stabilizing and oxide forming on alloys during heating.

Key words: Zr Alloy, structure stability, oxide phase

I. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bidang material untuk mendapatkan material baru dengan kinerja unggul telah dilakukan. Beberapa bidang pengembangan material yang dikaji meliputi aspek struktur, metode sintesis, karakterisasi sifat fisis, mekanik atau sifat lainnya. Ditinjau dan susunan atom-atom dalam padatan dikenal struktur padatan amorf dan Kristal. Dari sisi ukuran dan bentuk kristalnya dikenal mikrokristal, quasikristal, nanoquasikristal dan nanokristal. Kristal yang terbentuk dapat diturunkan dari fasa cair melalui pendinginan atau pemanasan struktur amorf fasa padatnya. Paduan amorf berbasis Zr khususnya dalam bentuk pejal (Bulk) atau dikenal "*Bulk Metallic Glasses*" telah dikembangkan oleh grup riset Inoue[1], grup riset Johnson [2] dan juga grup riset Koester[3].

Penelitian-penelitian terkait dengan pembentukan struktur kristal dari fasa amorfnya telah dikerjakan. Aspek yang ditinjau cukup bervariasi mulai dari aspek jenis dan jumlah elemen pepadu dalam % atom sampai dengan perlakuan panas untuk mengkaji terjadinya transformasi fasa polimorfi, eutektik dan primer [4]. Ukuran kristal selama proses kristalisasi ini dapat dikontrol melalui ke tiga mekanisme transformasi. Keadaan sebaliknya struktur amorf padatan dapat dicapai jika padatan Kristal dipanaskan hingga temperatur lelehnya, atau dari fasa cair didinginkan secara sangat cepat. Struktur padatan yang terjadi dari proses pemanasan dan pendinginan ini adalah padatan amorf atau kristal. Salah satu material baru yang dibuat dengan metode pendinginan sangat cepat adalah paduan amorf. Paduan ini secara termodinamik berada pada keadaan metastabil dan mempunyai sifat lebih ulet dibanding paduan Kristal juga tahan korosi karena tidak adanya batas butir. Struktur amorf ini bisa berubah apabila mengalami pemanasan, oleh karena itu beberapa penelitian dilakukan untuk mempertahankan struktur ini. Penambahan Si dan Sn pada paduan amorf sistem Zr-Cu-Ni-Al meningkatkan ketahanan oksidasi dan kestabilan struktur amorf, sedangkan elemen Y meningkatkan kristalisasi menuju fasa quasikristal [5]. Amorfisasi paduan amorf telah diamati melalui pola difraksi sinar X, saat paduan amorf dipanaskan pada

temperatur di atas temperatur kristalisasi [6,7]. Paduan amorf sistem Zr-Cu-Ni-Al-Si dipanaskan pada temperatur antara 400-440°C dan 470-490°C. Pada awal pemanasan fasa Kristal terbentuk, setelah pemanasan pada temperatur 440°C dan juga pada temperatur 490°C fasa amorf teramati melalui pola difraksi sinar X. Pengaruh temperatur pemanasan sekitar daerah transisi gelas pada paduan amorf Zr-Cu-Ni-Al mengakibatkan perubahan struktur yang signifikan [8]. Peningkatan temperatur pemanasan menyebabkan meningkatnya energi termal paduan, sehingga memungkinkan terjadinya pertumbuhan butir setelah melalui fasa kritisnya. Semakin tinggi pemanasan, maka ukuran Kristal semakin membesar [9].

Pada tulisan ini akan diamati pengaruh elemen pepadu Ni, Si dan Pd pada sistem paduan amorf Zr-Cu-Ni-Al, Zr-Cu-Pd-Al dan Zr-Cu-Ni-Al-Si terhadap kestabilan struktur amorf paduan berbasis Zr. Pengamatan dititik beratkan pada pola difraksi yang dihasilkan dari paduan amorf berbasis Zr setelah mengalami pemanasan. Pemanasan dilakukan pada temperatur sekitar titik transisi gelas paduan amorf Zr-Cu-Ni-Al.

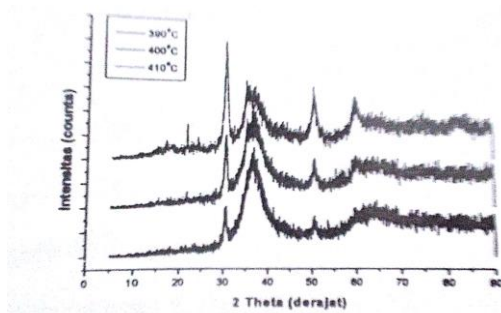
II. Metode Percobaan

Paduan amorf berbasis Zr berbentuk pita lebar 2,0-2,2 mm dengan ketebalan 20-40 μm dipanaskan pada temperatur antara 390-410°C di tungku pemanas dalam kondisi tidak hampa udara selama 1 jam. Paduan yang telah dipanaskan diuji strukturnya menggunakan difraksi sinar X. Pola difraksi sinar X yang dihasilkan dianalisis puncak-puncaknya menggunakan metode pencocokan pola puncak "search and match" dan diidentifikasi fasa-fasa yang terbentuk. Pengaruh elemen pepadu dari setiap paduan diamati dan dibandingkan pola difraksi dan fasa terbentuk.

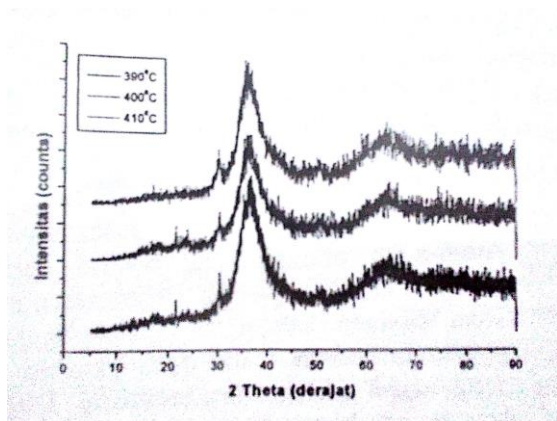
III. Data dan Pembahasan

Hasil pengamatan difraksi sinar X paduan setelah dipanaskan seperti pada Gambar 3.1 – 3.3. Pola difraksi paduan $\text{Zr}_{69,5}\text{Cu}_{22}\text{Ni}_{11}\text{Al}_{7,5}$ dengan variasi temperatur terlihat pada Gambar 3.1. Fasa-fasa yang terbentuk yaitu ZrO_2 untuk setiap pemanasan, yaitu pada $2\theta = 30, 50$ dan 60° . Fasa

oksida yang terbentuk yaitu ZrO_2 dengan struktur tetragonal dengan no PDF 14-0534. Fasa intermetalik tidak tampak dalam pola difraksi tersebut. Hasil pengamatan Liu dkk., terbentuk fasa $\text{Cu}_{10}\text{Zr}_7$ dan Ni_7Zr_2 dengan struktur orthorombik dan monoklinik berturut-turut untuk pemanasan 400°C dan 410°C . Fasa $\text{Cu}_{10}\text{Zr}_7$ teramati pada $2\theta = 34,89628$ dan $59,61289$, sedangkan fasa Ni_7Zr_2 teramati pada $2\theta = 29,47303$ dan $37,19130$. Fasa intermetalik mempunyai energi bebas paling rendah [8], sehingga pada proses kristalisasi mudah terbentuk. Fasa intermetalik $\text{Cu}_{10}\text{Zr}_7$ terbentuk, hal ini mengindikasikan bahwa difusi atom Cu memiliki peranan yang penting dalam kristalisasi. Sebagaimana diketahui bahwa Cu memiliki kemampuan difusi yang kuat dalam paduan.



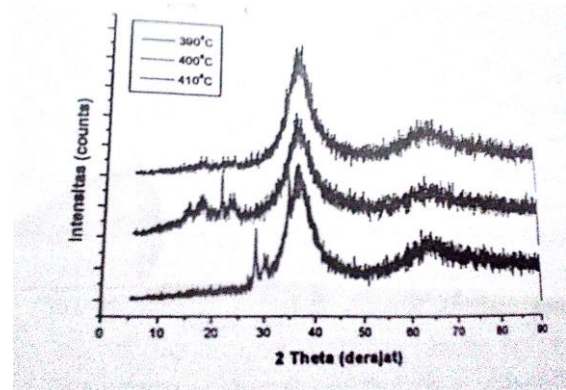
Gambar 3.1. Pola difraksi paduan $\text{Zr}_{69.5}\text{Cu}_{22}\text{Ni}_{11}\text{Al}_{7.5}$ setelah dipanaskan 1 jam temperatur bervariasi 410°C (atas), 400°C (tengah) dan 390°C (bawah)



Gambar 3.2. Pola difraksi paduan $\text{Zr}_{68.5}\text{Cu}_{13}\text{Pd}_{11}\text{Al}_{7.5}$ setelah dipanaskan 1 jam temperatur bervariasi 410°C (atas), 400°C (tengah) dan 390°C (bawah)

Gambar 3.2 menunjukkan pola difraksi paduan $\text{Zr}_{68.5}\text{Cu}_{13}\text{Pd}_{11}\text{Al}_{7.5}$ dengan variasi temperatur selama 1 jam. Fasa yang terbentuk yaitu hanya fasa

oksida ZrO_2 dengan struktur tetragonal dan diduga terbentuk juga fasa pksida $\text{Zr}_3\text{O}_{1-x}$ dengan struktur rhombohedral. Pada paduan ini tidak terbentuk fasa intermetalik. Dari pola difraksi sinar X terlihat bahwa paduan $\text{Zr}_{68.5}\text{Cu}_{13}\text{Pd}_{11}\text{Al}_{7.5}$ memiliki ketahanan struktur yang baik dibandingkan paduan yang lain, hal ini ditandai dengan penambahan temperatur pemanasan puncak-puncaknya cenderung tetap tidak banyak mengalami perubahan.



Gambar 3.3. Pola difraksi paduan $\text{Zr}_{68.3}\text{Cu}_{11.9}\text{Ni}_{10.9}\text{Al}_{7.9}\text{Si}_4$ setelah dipanaskan 1 jam temperatur bervariasi 410°C (atas), 400°C (tengah) dan 390°C (bawah)

Berdasar Gambar 3.3 untuk pola difraksi paduan Zr-Cu-Ni-Al-Si pada temperatur 410°C tidak teramati adanya puncak. Sehingga dapat dikatakan pada temperatur 410°C tidak terjadi kristalisasi melainkan terjadi amorfisasi. Atom-atom oksigen yang berasal dari luar berdifusi ke dalam paduan. Dikarenakan jari-jari atom oksigen hampir sama dengan dengan jari-jari penyusun paduan maka dimungkinkan difusi yang terjadi adalah difusi substitusi. Difusi ini bisa terjadi karena temperatur yang diberikan dapat memberikan energi pada atom-atom untuk melakukan pergerakan. Atom-atom yang semula tersusun dengan keteraturan berjangkauan panjang (kristal) menjadi atom-atom dengan keteraturan berjangkauan pendek (amorf) dikarenakan difusi oksigen yang sifatnya acak.

Elemen pepadu mempunyai pengaruh yang signifikan dalam proses kristalisasi. Dari pola difraksi terlihat bahwa paduan Zr-Cu-Ni-Al (4 komponen) dan 5 komponen (Zr-Cu-Ni-Al-Si) lebih tahan terhadap kristalisasi dibandingkan

paduan 3 komponen (Zr-Cu-Ni). Penambahan Al dan Si menyebabkan kestabilan struktur amorf sehingga menghambat terbentuknya fasa kristal. Penambahan elemen Si dan Sn pada paduan Zr-Cu-Ni-Al dapat meningkatkan ketahanan oksidasinya [10]. Selain itu dapat dilihat bahwa dengan penambahan elemen Si, fasa yang terbentuk adalah dominan amorf untuk setiap peningkatan temperatur pemanasan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penambahan elemen pepaduan akan meningkatkan stabilitas termal bahan [11], begitu juga dengan penambahan Pd pada paduan Zr-Cu-Al. Penambahan Pd juga menyebabkan paduan tahan terhadap kristalisasi. Penentuan ukuran kristal yang terbentuk dari fasa oksida dihitung menggunakan persamaan Scherrer didapat berkisar 10 - 30 nm untuk paduan $Zr_{69,5}Cu_{22}Ni_{11}Al_{7,5}$, sedangkan dua paduan lain didominasi fasa amorf. Amorfisasi terjadi pada paduan dengan elemen pepaduan Si.

IV. Kesimpulan

Dari data-data, diskusi dan analisis dapat disimpulkan, bahwa

1. Elemen-elemen Ni, Pd dan Si berpengaruh signifikan terhadap kestabilan struktur amorf yang ditunjukkan oleh pola difraksi x ray dengan pola tidak berbentuk puncak-puncak karakteristik.
2. Puncak karakteristik yang timbul dengan adanya Ni, Pd dan Si dalam pola difraksi didominasi oleh fasa oksida dengan ukuran antara 10-20 nm dan bukan fasa intermetalik yang merupakan hasil kristalisasi paduan amorf.

Ucapan terima kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. U. Koester AG. Werkstoffe & Korrosion yang telah mengizinkan untuk penelitian lanjutan dengan material paduan amorf berbasis Zr.

Daftar Acuan

- [1]. Inoue, A., 2000, "Stabilization of Metallic Supercooled Liquid and Bulk Amorphous Alloys" *Acta Mater.* 48: 279-306
- [2]. Johnson, W.L., 2002, "Bulk Amorphous Alloys – an Emerging Engineering Material", *Journal of Material*, 54: 40-43.
- [3]. Koester, U., Meinhardt, J., Liebertz, H., 1996, "Formation of Quasicrystal in Bulk Glass-Forming Zr-Cu-Ni-Al Alloys", *App.Phys.Lett.* 69: 179-181.
- [4]. Koester, U., 1993, "Phase Transformation in Rapidly Solidification Alloys", *Key Engineering Materials*, 81-83: 227-233.
- [5]. Triwikantoro, Pratapa, S., Hidayat, N., Fajarin, R., 2005, "Pengaruh Elemen Pepaduan pada Perilaku Oksidasi dan Kristalisasi Material Amorf berbasis Zr", *Proc.Seminar Pascasarjana ke V, Program Pascasarjana ITS Surabaya*.
- [6]. Asiyah, N., 2006, "Pengaruh Elemen Pepaduan Si terhadap Perubahan Struktur Paduan berbasis Zr pada Temperatur 400-440°C", *Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS*.
- [7]. Jatmiko, A., 2006, "Pengaruh Elemen Pepaduan Si terhadap Perubahan Struktur Paduan berbasis Zr pada temperatur 470-490°C", *Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS*.
- [8]. Liu, L., Chan, K.C., Zhang, T., 2005, "The Effect of Temperature on the Crystallization of $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ Bulk Metallic Glass in the Glass Transition Region", *J.Alloy Compd.* 396: 114-121
- [9]. Saida, J., Matsushita, M., Li, C., Inoue, A., 2000, "Crystallization of Zr-based Bulk Metallic Glasses", *J.Mat.Sci.*, 35: 3539-3546.
- [10]. Triwikantoro, 2002, "Studi Pengaruh Struktur Mikro pada Sifat Oksidasi dan Kristalisasi Bahan Gelas Metalik Berbasis Zirkonium", *Proc. Seminar Nasional Lemlit ITS, Surabaya*.
- [11]. Jang, J.S.C., Chang, L.J., Hung, T.H., Huang, J.C., Liu, C.T., 2006, "Thermal Stability and

Crystallization of Zr-Al-Cu-Ni Based Amorphous Alloy Added with Boron and Silicon”, Journal of Intermetallics 14: 951-956.